

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA FAKULTA STROJNÍ



ÚNAVA MATERIÁLU

Vliv vrubu na mez únavy, součinitel vrubu

Ing. Martin Fusek, Ph.D.

Dr. Ing. Adámková Ludmila

Ostrava 2013

© Ing. Martin Fusek, Ph.D., Dr. Ing. Adámková Ludmila
© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
ISBN 978-80-248-3024-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

10	VLIV VRUBU NA MEZ ÚNAVY, SOUČINITEL VRUBU	3
10.1	Mez únavy těles s vruby	4
10.2	Smyčkové diagramy částí s vruby	5
10.3	Řešené příklady	7
10.4	Příklady k procvičení.....	11
10.5	Literatura.....	12



10 VLIV VRUBU NA MEZ ÚNAVY, SOUČINITEL VRUBU



OBSAH KAPITOLY:

Mez únavy těles s vruby.

Smyčkové diagramy součástí s vruby.



MOTIVACE:

Většina součástí, se kterými se setkáváme v technické praxi, nejsou prizmatického charakteru (nemají konstantní průřez). Přednáška se zabývá posouzením vrubových účinků na mez únavy.

V kapitole je na názorných příkladech posouzen vliv vrubového účinku na mez únavy.



CÍL:

Mez únavy těles s vruby. Součinitel vrubu.

Smyčkové diagramy částí s vruby



10.1 MEZ ÚNAVY TĚLES S VRUBY

V reálných součástech existují vždy koncentrátoři napětí, ve kterých se přednostně iniciují trhliny. Účinek vrubu je vyjádřen součinitelem vrubu β , který je definován jako podíl meze únavy části bez vrubu σ_c^* k mezi únavy částí s vrubem σ_c^*



Audio 10.1 Mez únavy



$$\beta = \frac{\sigma_c^*}{\sigma_c^*} \quad (10.1)$$

Součinitel vrubu β je možno stanovit podle několika teorií.

Nejstarší vztah pochází od Thuma-Buchmana, který definuje součinitel vrubové citlivosti q

$$q = \frac{\beta-1}{\alpha_t-1} \quad (10.2)$$

kde α_t je součinitel koncentrace napětí.

Vzhledem k tomu, že $\beta \leq \alpha_t$, je součinitel vrubové citlivosti $q \leq 1$.

Hodnoty q a β je podle Petersna možno určit z následujícího vztahu

$$q = \frac{1}{1+\frac{\rho}{a}} \quad (10.3)$$

Kde ρ je poloměr křivosti vrubu a a je materiálová konstanta, mající délkový rozměr. Hodnoty konstanty a jsou pro některé materiály uvedené v následující tabulce.

Materiál	a [mm]
Slitiny hliníku	0.51
Žíhané nízkouhlíkové oceli	0.25
Kalené a popouštěné oceli	0.064

Tabulka 1

Peterson rovněž dokázal, že veličina a je závislá u ocelí na mezi pevnosti v tahu podle následujícího vztahu [4]

$$\log a = 2.654 \times 10^{-7} R_m^2 - 1.309 \times 10^{-3} R_m + 0.01103 \quad (10.4)$$

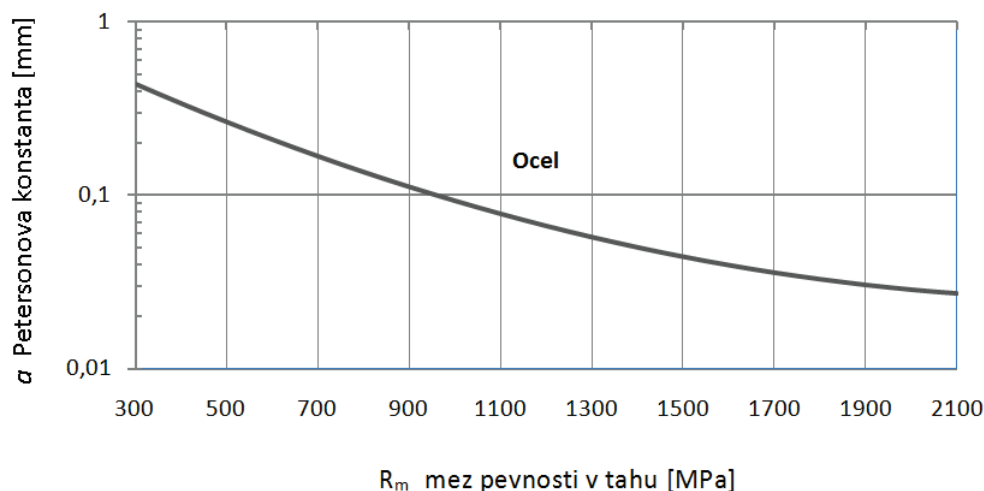
odtud

$$a = 10^{\log a} \quad (10.5)$$

Uvedené vztahy jsou platné pro

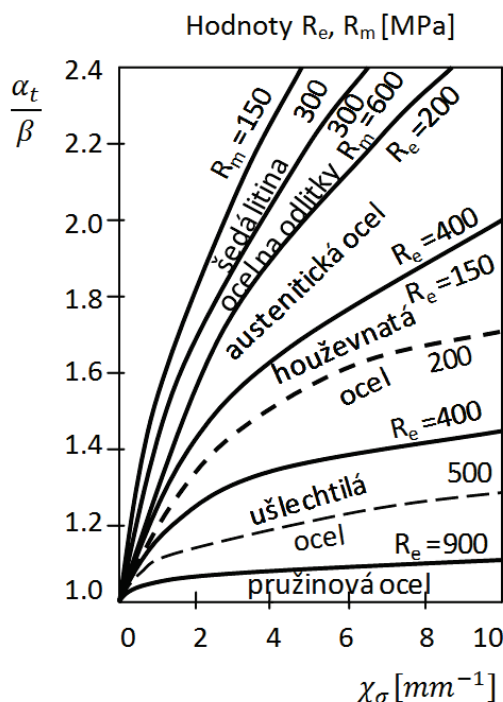
$$345 \leq R_m \leq 2070 \text{ MPa} \quad (10.6)$$

Závislost Petersonovy konstanty na mezi pevnosti v tahu je znázorněna na obr.1



Obrázek 1





Obrázek 2

Další jednoduchý způsob výpočtu součinitele vrubu navrhli na základě experimentů Siebela a Stielera, podle nichž je

$$\frac{\alpha_t}{\beta} = 1 + \sqrt{c\chi_\sigma} \quad (10.7)$$

kde χ_σ je poměrný gradient napětí a c je materiálová konstanta. Graficky jsou průběhy rovnice (10.7) znázorněny na obr.2.

Mez únavy částí s vruby σ_c^* je pak definována následovně

$$\sigma_c^* = \frac{\sigma_c^\times}{\beta} = \frac{\sigma_c v_\sigma}{\beta} \eta_p \quad (10.8)$$

a

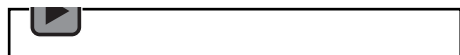
$$\tau_c^* = \frac{\tau_c^\times}{\beta} = \frac{\tau_c v_\tau}{\beta} \eta_{pk}. \quad (10.9)$$

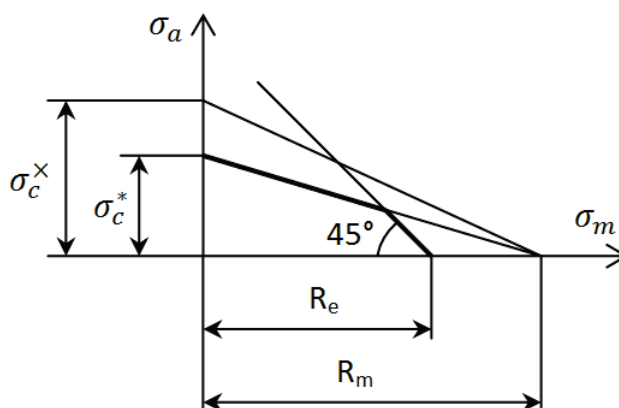
10.2 SMYČKOVÉ DIAGRAMY ČÁSTÍ S VRUBY

U houževnatých materiálu se účinek vrubu projevuje pouze na střídavé složce cyklu, kde ovlivňuje velikost amplitudy napětí (obr.3), střední napětí zůstává nezměněno. U křehkých materiálů vruby ovlivňují i statické mechanické vlastnosti (obr.4).



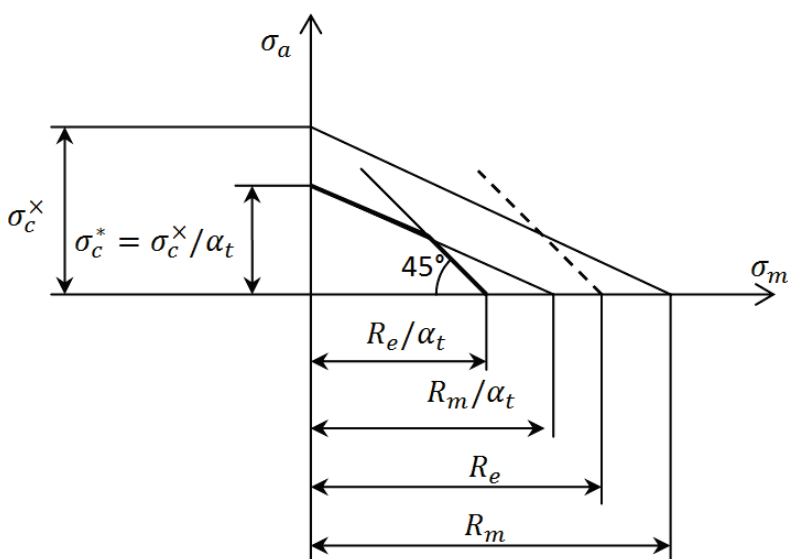
Audio 10.2 Smyčkové diagramy



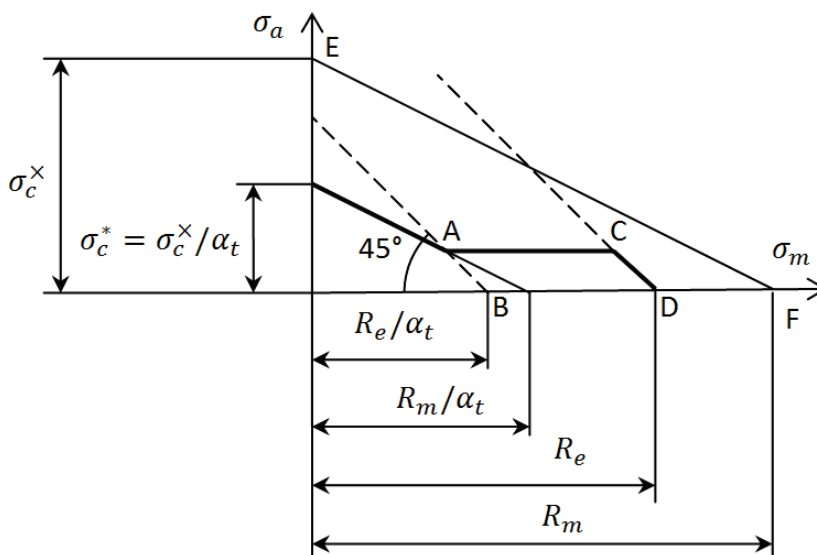


Obrázek 3

U materiálů s vysokým poměrem meze kluzu k mezi pevnosti navrhl Gunn konstrukci mezní čáry založené na předpokladu, že součinitel vrubové citlivosti $q = 1$, tj. $\alpha = \beta$ (obr.5). Na rozdíl od Haighova diagramu pro křehké materiály (obr.3) není po dosažení meze kluzu v kořeni vrubu (bod A) při zvýšení středního napětí σ_m snižovat amplitudu napětí σ_a podle přímky $\overline{AB}$. V této oblasti diagramu horní napětí $\sigma_h = \sigma_m + \sigma_a$ se jen málo mění, neboť u kořene vrubu vznikají plastické deformace. V bodě C je dosaženo meze kluzu v celém průřezu pod vrubem. Při dalším zvýšení středního napětí σ_m je již nutno pro stejnou životnost snižovat amplitudu podle přímky $\overline{CD}$.



Obrázek 4



Obrázek 5

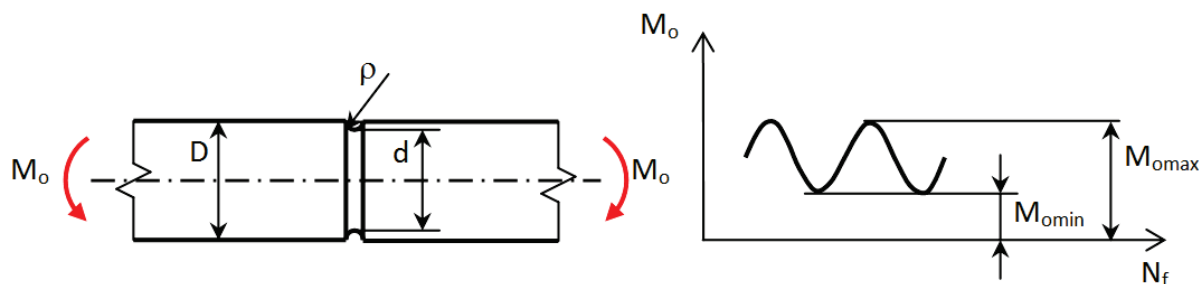
K zapamatování:

- Součinitel vrubu - definován jako podíl meze únavy části bez vrubu k mezi únavy částí s vrubem.
- Součinitel vrubu – vždy menší než součinitel koncentrace napětí.
- V případě houževnatých materiálů vrub ovlivňuje pouze velikost amplitudy napětí, v případě křehkých materiálů vrub ovlivňuje i střední složku napětí.

10.3 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY**Příklad 1**

Hřídel se zápichem (obr.1) je namáhán ohybovým momentem M_0 . Posuďte jeho bezpečnost vůči mezi únavy, jestliže je dáno: $M_{0max} = 1.4Nm$, $M_{0min} = 0.4Nm$, $R_m = 650MPa$, $R_e = 520MPa$, $D = 8mm$, $d = 6mm$, $\rho = 0,6mm$.

Povrch vrubu jemně broušený. K posouzení bezpečnosti použijte Gerberovy paraboly.



Obrázek 1

Řešení:

Výpočet normálových napětí od ohybového momentu

$$\sigma_h = \frac{32M_{0max}}{\pi d^3} = \frac{32 \times 1.4 \times 10^3}{\pi \times 6^3} = 66MPa$$

$$\sigma_d = \frac{32M_{0min}}{\pi d^3} = \frac{32 \times 0.4 \times 10^3}{\pi \times 6^3} = 18.9MPa$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_h - \sigma_d}{2} = 23.6MPa$$



$$\sigma_m = \frac{\sigma_h + \sigma_d}{2} = 42.4 \text{ MPa}$$

Součinitel nesymetrie cyklu je roven

$$R = \frac{\sigma_d}{\sigma_h} = 0.286$$

Mez únavy v ohybu za rotace leštěného vzorku $\emptyset - 10 \text{ mm}$ je možno určit podle [1]

$$\sigma_{oR,C}^{\times}(10) = 0.36R_m + 44 = 0.36 \times 650 + 44 = 278 \text{ MPa}$$

Pro výpočet meze únavy broušeného hřídele $\emptyset - 6 \text{ mm}$ je nutno uvážit jednak vliv součinitele jakosti povrchu η_p , dále součinitel gradientu napětí v_g a součinitel velikosti součásti v (viz obr. 3 a 4 – přednáška 8)

Je tedy

$$\begin{aligned}\eta_p &= 0.91 \\ v_g(6) &= 1.55 \\ v_g(10) &= 1.36 \\ v &= 1 - \sqrt{0.02 \ln \frac{10}{6}} = 0.899\end{aligned}$$

a

$$\sigma_{oR,C}^{\times}(6) = \sigma_{oR,C}^{\times}(10) \frac{v_g(6)}{v_g(10)} \frac{1}{v} \eta_p = 278 \times \frac{1.55}{1.36} \times \frac{1}{0.899} \times 0.91 = 321 \text{ MPa}$$

Při stanovení součinitele vrubu β uvážíme $\beta = \alpha_t$ (jsme na straně větší bezpečnosti). Součinitel koncentrace napětí α_t můžeme např. určit z obr.3 – přednáška 1.

Je tedy

$$\beta = \alpha_t = f\left(\frac{\rho}{d}; \frac{D}{d}\right) = f\left(\frac{0.6}{6}; \frac{8}{6}\right) \Rightarrow \beta = 1.84$$

Mez únavy součásti s vrubem

$$\sigma_c^* = \frac{\sigma_{oR,C}^{\times}(6)}{\beta} = \frac{321}{1.84} = 174.4 \text{ MPa}$$

Přípustnou amplitudu napětí σ_{aG} (obr.2) určíme z rovnice Gerberovy paraboly

$$\frac{\sigma_{aG}}{\sigma_c^*} = 1 - \left(\frac{\sigma_{mG}}{R_m}\right)^2$$

Jestliže dosadíme za

$$\sigma_{mG} = \sigma_{aG} \frac{1+R}{1-R}$$

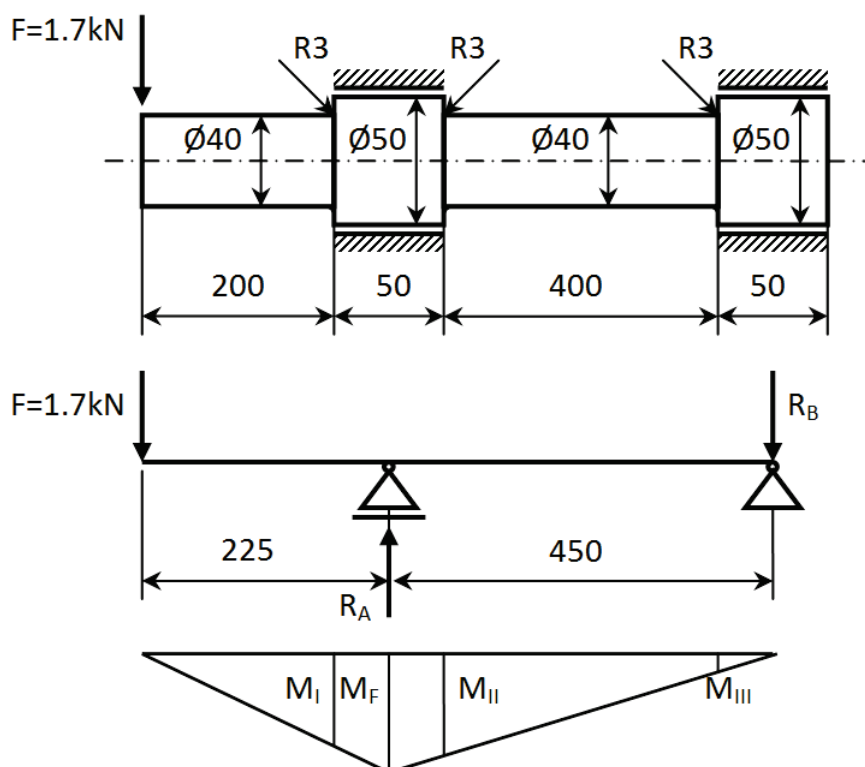
dostaneme po vyřešení

$$\begin{aligned}\sigma_{aG} &= 145.9 \text{ MPa} \\ \sigma_{mG} &= 262.7 \text{ MPa}\end{aligned}$$

a bezpečnost vůči mezi únavy bude

$$k = \frac{\sigma_{aG}}{\sigma_a} = \frac{\sigma_{mG}}{\sigma_m} = \frac{145.9}{23.6} = \frac{262.7}{42.4} = 6.18$$





Obrázek 4

$$R_B = F \times \frac{225}{450} = 1700 \times \frac{225}{450} = 850 \text{ N}$$

$$M_I = F \times 200 = 1700 \times 200 = 340000 \text{ Nmm}$$

$$M_F = F \times 225 = 1700 \times 225 = 382500 \text{ Nmm}$$

$$M_{II} = R_B \times 425 = 850 \times 425 = 361250 \text{ Nmm}$$

$$M_{III} = R_B \times 25 = 850 \times 25 = 21250 \text{ Nmm}$$

Z řešení vyplývá, že největší namáhání bude v místě II.

Výpočet ohybových napětí v místě II

$$\sigma_h = \frac{32M_{II}}{\pi d^3} = \frac{32 \times 361250 \times 10^3}{\pi \times 40^3} = 57.5 \text{ MPa}$$

Střední složka napětí σ_m a amplituda napětí σ_a v případě mívivého cyklu jsou rovny

$$\sigma_m = \sigma_a = \frac{\sigma_h}{2} = 28.9 \text{ MPa}$$

Mez únavy hladké součásti $\phi = 40 \text{ mm}$

$$\sigma_{co(40)}^\times = \sigma_{co(10)} \frac{v_g(40)}{v_g(10)} v \eta_p$$

kde

$$v_g(40) = 1.23$$

$$v_g(10) = 1.38$$

$$v = 1 - \sqrt{0.02 \ln \frac{40}{10}} = 0.833$$

$$\eta_p = 0.93$$

Po dosazení je

$$\sigma_{co(40)}^\times = \sigma_{co(10)} \frac{v_g(40)}{v_g(10)} v \eta_p = 270 \times \frac{1.23}{1.38} \times 0.833 \times 0.93 = 186.4 \text{ MPa}$$

Součinitel vrubu β



$$\beta \cong \alpha_t = f\left(\frac{r}{d}; \frac{D}{d}\right) = f\left(\frac{3}{40}; \frac{50}{40}\right) = 1.75$$

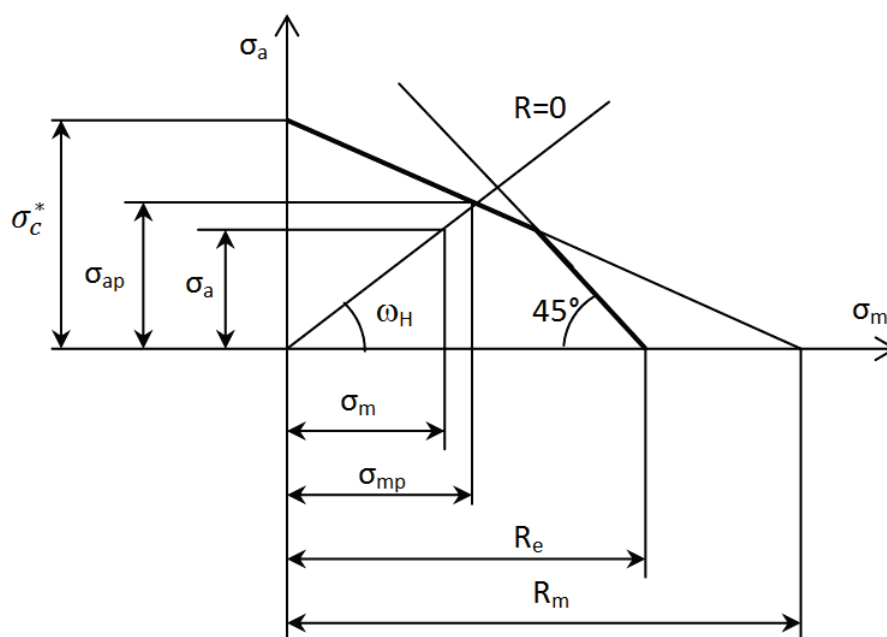
Mez únavy součásti s vrubem

$$\sigma_c^* = \frac{\sigma_{co(40)}^\times}{\beta} = \frac{186.4}{1.75} = 106.5 \text{ MPa}$$

Stanovení bezpečnosti vůči mezi únavy

Při aproximaci Goodmanovou přímkou bude (obr.5)

$$\frac{\sigma_{ap}}{\sigma_c^*} = 1 - \frac{\sigma_{mp}}{R_m}$$



Obrázek 5

V případě mívajícího cyklu bude

$$\sigma_{ap} = \frac{\sigma_c^* R_m}{R_m + \sigma_c^*} = \frac{106.5 \times 510}{510 + 106.5} = 88.1 \text{ MPa}$$

a bezpečnost vůči mezi únavy

$$k_c = \frac{\sigma_{ap}}{\sigma_a} = \frac{88.1}{28.9} = 3$$

10.4 PŘÍKLADY K PROCVIČENÍ

Příklad 1

Stanovte bezpečnost vůči mezi únavy z předešlého příkladu, jestliže hřídel je namáhán symetrickým střídavým cyklem.

Výsledek $k_c = 1.85$



10.5 LITERATURA

- [1] Kučera,J. *Úvod do mechaniky lomu.Únava materiálu* . VŠB-TU Ostrava,1994. 80s. Skriptum. ISBN 80-7078-244-7.
- [2] Tore Dahlberg, Anders Ekberg. *Failure Fracture Fatigue. An Introduction*. Sweden 2009. ISBN 978-91-44-02096-9. 360 p.
- [3] Hoschl,C. *Pružnost a pevnost ve strojnictví*. SNTL Praha 1971. 376 s.
- [4] Dowling,N.E. *Mechanical behavior of materials. Engineering Methods for Deformation, Fracture and fatigue*. Third edition. Pearson Prentice Hall,2007. ISBN 0-13-186312-6.
- [5] Vlk,M., Florian,Z. *Mezní stavy a spolehlivost*. Elektronický učební text. www.zam.fme.vutbr.cz/~vlk/meznistavy.pdf

